



汽车先进技术译丛
汽车技术经典手册

 Springer

车辆动力学理论 与应用 上册

(原书第2版)

Vehicle Dynamics
Theory and Application

[加] 雷扎 N. 亚泽尔 (Reza N. Jazar) 著
刘西侠 刘维平 张传清 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



非
外
借

汽车先进技术译丛 汽车技术经典手册

车辆动力学理论与应用 (上册)

(原书第2版)

[加] 雷扎 N. 亚泽尔 著
(Reza N. Jazar)

刘西侠 刘维平 张传清 译

机械工业出版社

本书包括：基础部分“轮胎、轮辋及车型分类知识”，包含有关轮胎、轮辋及公路车辆分类简述等一般预备知识；第一部分“车辆驱动”，介绍正向车辆动力学、轮胎动力学和传动系统动力学；第二部分“车辆运动学”，详细讨论转向系和悬架系等车辆机械子系统。

本书理论与实践并重，强调对相关概念物理含义的理解和应用，重点对其应用进行了阐述。书中所选择的主题都是本领域的研究热点，目的在于为读者提供丰富的讨论内容和方法指导。

Translation from English language edition:

Vehicle Dynamics

by Reza N. Jazar

Copyright © 2014 Springer New York

Springer New York is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

版权所有，侵权必究。

This title is published in China by China Machine Press with license from Springer. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体版由 Springer 授权机械工业出版社在中华人民共和国境内（不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区）出版与发行。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2015-1284 号。

图书在版编目（CIP）数据

车辆动力学理论与应用：原书第2版（上册）/（加）雷扎·N. 亚泽尔（Reza N. Jazar）著；刘西侠，刘维平，张传清译．—北京：机械工业出版社，2017.11
（汽车先进技术译丛·汽车技术经典手册）

书名原文：Vehicle Dynamics

ISBN 978-7-111-58255-7

I. ①车… II. ①雷…②刘…③刘…④张… III. ①汽车动力学 IV. ①U461.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 247836 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：何士娟 李 军 责任编辑：徐 霆

责任校对：肖 琳 张晓蓉 封面设计：鞠 杨

责任印制：孙 炜

保定市中画美凯印刷有限公司印刷

2018 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·26 印张·2 插页·633 千字

0 001—1 900 册

标准书号：ISBN 978-7-111-58255-7

定价：168.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066 机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294 机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

译者序

车辆动力学是研究车辆操纵稳定性、行驶安全性和驱动效率的基础理论。澳大利亚皇家墨尔本理工大学 Reza N. Jazar 教授所著《车辆动力学理论与应用（第2版）》一书，是一部内容系统丰富、阐述清晰深入、理论与实践并重的高水平著作。

雷扎 N. 亚泽尔（Reza Nakhaie Jazar）教授的研究领域涉及以智能隔振器为重点的非线性动态系统动力学、振动、控制、稳定性、分叉和混沌行为研究，以自动驾驶车辆和智能/安全车辆为重点的车辆动力学、操纵性、乘适性和稳定性研究，以非线性设计应用为重点的微机电系统动力学、设计、优化、控制和稳定性研究，以及以时间和能量优化控制为重点的机器人机械手运动学、动力学和控制研究等。

该书除了在车辆动力学基础理论方面论述充分之外，其显著特色是采用了大量来自实际工程的案例、习题和思考题帮助读者学习和理解，使读者充分领略车辆动力学问题的机理，同时培养自己解决实际问题的能力。本书在澳大利亚一些大学车辆工程专业本科生、研究生以及企业的工程师或研发人员中非常受欢迎，是车辆动力学知识学习的主要培训教材。

本书第1章~第4章由刘西侠翻译，第5章和第6章由刘维平翻译，第7章和第8章由张传清翻译。在翻译过程中，课题组邱绵浩、姚新民、金毅、陈红迁和江鹏程几位老师参与了多数章节图文的翻译、审校，车辆工程专业博士研究生聂俊峰、谭永营和硕士研究生姚东强、吴文文、贾伟健等在书中的习题翻译、审校、试做方面做了大量繁杂的工作。

译者在翻译过程中力求忠实于原著和理解其本来的含义，但限于水平，难免有错误和不准确之处，恳请广大同行和读者指正。

原书第2版前言

如果没有我的学生和同事们建议和贡献，尤其是哥伦比亚大学和皇家墨尔本理工大学里的学生和同事们建议和贡献，我很难完成本书第2版的工作。我对与我分享其50年汽车工业经验的朋友 Stefan Anthony 先生深表感谢，特别感谢 Andy Fu 和 Hormoz Marzbani，他们认真地审阅本书，并指出了排印和逻辑上的错误。

这一版中引入的新专题来自学生们的反馈，这些反馈帮助我阐明并完善了本书的部分内容。

本书的目的是试图采取把我自己当成学生的形式来解释车辆动力学。本书涵盖车辆动力学所有方面，为学生提供了详细的解释和信息，能够为学生和工程师们提供帮助和重要参考。

本书的第1版由 Springer 于2008年出版，第1版出版不久就在行业内广受欢迎。除了我自己的学生和同事外，还要感谢众多其他读者，他们的问题、意见和建议为我完成第2版提供了很大的帮助。

前言

本书面向工程专业的学生，介绍车辆动力学的基础知识，这些知识可以用于开发公路车辆乘坐舒适性、操纵性及优化分析的计算机程序。

车辆动力学在工程专业的课程中已经存在了一百多年，关于这方面的书籍比较多，但多是面向专家层次的，并不适合应用于课堂教学。刚入门的学生、工程师或研发人员不知道从何处和怎样开始车辆动力学的学习。因此，有必要为初学者编写一本教材。本书提供了满足该领域未来发展需求的知识基础。

本书的层次

本书源自近十年的非线性动力系统研究和车辆动力学课程教学，主要面向本科生最后一学年和工程专业研究生第一学年的学习。因此该书是一本中间层次的教材，既提供了基础知识，又包含前沿课题。全书可以分在相互关联的两门课程中讲授，也可以跳过某些章节在一门课程中讲授。学生需要掌握一定的运动学和动力学基础，以及数值方法的基本知识。

本书的内容力求保持在一定的理论 - 实践层次，对很多概念都做了深入的解释，并对其应用进行了重点阐述，对大量的相关理论进行了证明。本书强调概念的物理含义和应用，所选择的主题是本领域的热点，其目的在于为学生提供丰富的专题范围和方法途径。

本书共有四章与车辆动力学不是直接相关：应用运动学、应用机构学、应用动力学和应用振动学，这几章为理解车辆动力学及车辆子系统动力学提供相关背景知识。

本书的结构

为便于教学和自学，本书结构组织如下。第1章“基础知识”包含轮胎、轮辋及公路车辆分类简述等一般预备知识。

第一部分“车辆驱动”介绍正向车辆动力学、轮胎动力学和传动系统动力学。正向动力学涉及质量转移、加速、制动，发动机性能和变速器传动比设计等内容。

第二部分“车辆运动学”详细讨论转向系和悬架系等车辆机械子系统。

第三部分“车辆动力学”应用牛顿方法和拉格朗日方法研究车辆操纵动力学。

第四部分“车辆振动”详细讨论车辆的振动问题。目的是介绍和示范对车辆建立多自由度振动系统模型的基本方法。牛顿 - 欧拉动力学方法和拉格朗日方法的概念，同时用于推导运动方程。介绍了车辆悬架系设计的 *RMS* 优化技术，并应用于车辆悬架系。优化技术的成果是获得汽车或悬架装置的最佳刚度和阻尼。

方法介绍

本书采用“事实 - 原因 - 应用”结构，“事实”是每一节中引入的主要议题，通过“证明”的方式找出“原因”。事实的应用在“案例”中验证，案例是本书中非常重要的部分，这些案例说明了如何应用这些“事实”。案例还涵盖了用于拓展本节议题的其他“事实”。

预备知识要求

因为本书是面向工程专业的高年级本科生和一年级研究生，故假设读者熟悉矩阵算法和基本动力学。本书的预备知识包括运动学、动力学、向量分析和矩阵理论基础，上述基础知识通常在本科生前三年的学习中教授。

本书说明

单位制

如无特殊说明，本书采用国际单位制（SI）。用度（°）或弧度（rad）作为表示角度大小变量的单位。

符号

- 小写加粗字母表示向量，向量可以在 n 维欧几里得空间中表示。例如：

r	s	d	a	b	c
p	q	v	w	y	z
ω	α	ϵ	θ	δ	ϕ

- 大写加粗字母表示动力学向量或动力学矩阵，如力和力矩。例如：

F	M
-----------------------	-----------------------

- 带上折线的小写字母表示单位向量，单位向量不加粗。例如：

$\hat{i}$	$\hat{j}$	$\hat{k}$	$\hat{e}$	$\hat{u}$	$\hat{n}$
$\hat{l}$	$\hat{j}$	$\hat{K}$	$\hat{e}_\theta$	$\hat{e}_\varphi$	$\hat{e}_\psi$

- 带上波浪线的小写字母表示与某向量关联的 3×3 斜对称矩阵。例如：

$\tilde{a} = \begin{bmatrix} 0 & -a_3 & a_2 \\ a_3 & 0 & -a_1 \\ -a_2 & a_1 & 0 \end{bmatrix}$	$a = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$
--	---

- 上面带有箭头的两个大写字母表示某位置向量的起点和终点。例如：

$\overrightarrow{ON}$ = 从 O 指向 N 的位置向量

- 向量的长度由不加粗的小写字母表示。例如：

$r = \mathbf{r} $	$a = \mathbf{a} $	$b = \mathbf{b} $	$s = \mathbf{s} $
--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

- 首字母 B 用来表示体坐标系。例如：

$B(oxyz)$	$B(Oxyz)$	$B_1(o_1 x_1 y_1 z_1)$
-----------	-----------	------------------------

- 首字母 G 用来表示全域坐标系、惯性坐标系或固定坐标系。例如：

G	$G(XYZ)$	$G(OXYZ)$
-----	----------	-----------

- 转换矩阵的右下标表示起始坐标系。例如：

R_B = 由坐标系 $B(oxyz)$ 开始的转换矩阵

- 转换矩阵的左上标表示目标坐标系。例如：

${}^G R_B$ = 由坐标系 $B(oxyz)$ 向坐标系 $G(OXYZ)$ 的转换矩阵。

- 如果大写字母 R 带有起始坐标系和目标坐标系，则表示旋转或转换矩阵。例如：

$${}^G R_B = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- 当没有上标或下标时,用方括弧形式表示矩阵。例如:

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- 向量的左上标表示该向量在左上标坐标系中表示,该上标说明了该向量所属的坐标系,因此,向量采用该坐标系的单位向量表示。例如:

${}^G \mathbf{r}$ = 在坐标系 $G(OXYZ)$ 中表示的位置向量

- 向量的右下标表示向量参考的头部端点

${}^G \mathbf{r}_P$ = 在坐标系 $G(OXYZ)$ 中表达的点 P 的位置向量

- 角速度向量的右下标表示该角度向量所参考的坐标系

$\boldsymbol{\omega}_B$ = 本体坐标系 $B(oxyz)$ 的角速度

- 角速度向量的左下标表示测量该角度向量时参考的坐标系。例如

${}_G \boldsymbol{\omega}_B$ = 本体坐标系 $B(oxyz)$ 相对于全域坐标系 $G(OXYZ)$ 的角速度

- 角速度向量的左上标是指表达该角速度所在的坐标系,例如:

${}^{B_2} {}_G \boldsymbol{\omega}_{B_1}$ = 在本体坐标系 B_2 中表达的体坐标系 B_1 相对于全局坐标系 G 的角速度
角速度的下标和上标相同时,通常会去掉左上标。例如:

${}_G \boldsymbol{\omega}_B$ 相当于 ${}^G {}_G \boldsymbol{\omega}_B$

对位置向量、速度向量和加速度向量,如果左上标和左下标相同,通常会去掉左下标。例如:

${}^B {}_B v_P$ 相当于 ${}^B v_P$

- 求导计算时的左上标表示被求导计算变量所处的坐标系。例如:

$$\frac{{}^G d}{dt} x \quad \frac{{}^G d}{{}^B dt} {}^B \mathbf{r}_P \quad \frac{{}^B d}{{}^G dt} {}^G \mathbf{r}_P$$

如果变量是向量函数,而定义该向量的坐标系与时间导数所处的坐标系相同,可以用如下简写记法,

$$\frac{{}^G d}{{}^G dt} {}^G \mathbf{r}_P = {}^G \dot{\mathbf{r}}_P \quad \frac{{}^B d}{{}^B dt} {}^B \mathbf{r}_P = {}^B \dot{\mathbf{r}}_P$$

同时可简化方程的写法。例如:

$${}^G v = \frac{{}^G d}{{}^G dt} {}^G \mathbf{r}(t) = {}^G \dot{\mathbf{r}}$$

- 大写加粗字母 I 表示单位矩阵,该矩阵随维数不同,可以是 3×3 或 4×4 等单位矩阵。 I_3 或 I_4 等用于表示矩阵 I 的维数。例如:

$$I = I_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- 星号★表示较为前沿的专题,或者指本科教学中可以不选用的案例,这些内容可以在首度阅读时略掉。

目 录

译者序

第2版前言

前 言

本书说明

1 轮胎和轮辋基础	1
1.1 轮胎和轮胎侧壁信息	1
1.2 轮胎组成	7
1.3 子午线轮胎和非子午线轮胎	10
1.4 胎面	12
1.5 轮胎接地印迹	13
1.6 车轮和轮辋	14
1.7 车辆分类	16
1.7.1 ISO 和 FHWA 分类	16
1.7.2 乘用车分类	18
1.8 小结	19
1.9 主要符号	20
习题	20

I 车辆驱动

2 正向车辆动力学	25
2.1 水平路面上停放的汽车	25
2.2 倾斜路面上停放的汽车	30
2.3 水平路面上加速的汽车	34
2.4 倾斜路面上加速的汽车	38
2.5 侧倾路面上停放的汽车	46
2.6★ 最优驱动力和制动力分配	50
2.7★ 多于两个车轴的车辆	54
2.8★ 在外弧形道路和内弧形道路上的车辆	57
2.8.1★ 外弧形道路上的车辆	57
2.8.2★ 内弧形道路上的车辆	60
2.9 小结	63
2.10 主要符号	63
习题	64

3 轮胎动力学	68
3.1 轮胎坐标系和轮胎力系	68
3.2 轮胎刚度	70

3.3 有效半径	74
3.4★ 静止轮胎的接地印迹力	85
3.4.1★ 静止轮胎, 法向应力	85
3.4.2★ 静止轮胎, 切向应力	87
3.5 滚动阻力	88
3.5.1 速度对滚动摩擦系数的影响	91
3.5.2 充气压力和载荷对滚动摩擦系数的影响	93
3.5.3★ 侧偏角对滚动阻力的影响	95
3.5.4★ 外倾角对滚动阻力的影响	96
3.6 纵向力	96
3.7 侧向力	102
3.8 外倾力	110
3.9 轮胎力	114
3.10 小结	117
3.11 主要符号	118
习题	120

4 动力传动系统动力学	122
4.1 发动机动力学	122
4.2 动力传动系统及其效率	128
4.3 变速器和离合器动力学	131
4.4 变速器设计	137
4.4.1 等比级数传动比变速器设计	138
4.4.2★ 递增传动比变速器设计	149
4.5 小结	151
4.6 主要符号	152
习题	153

II 车辆运动学

5 应用运动学	161
5.1 绕全域笛卡儿坐标轴的旋转	161
5.2 绕全域笛卡儿坐标轴的连续旋转	164
5.3 绕局部笛卡儿坐标轴的旋转	166

5.4 绕局部笛卡儿坐标轴的连续旋转	169	7.2 多于两个车轴的车辆	288
5.5 通用转换	175	7.3★ 带拖车的车辆	290
5.6 局部旋转和全域旋转	181	7.4 转向机构	293
5.7 轴-角旋转	182	7.5★ 四轮转向	297
5.8 刚体运动	186	7.6★ 道路设计	310
5.9 角速度	188	7.7★ 转向机构优化	330
5.10★ 时间导数与坐标系	194	7.8★ 拖车-货车运动学	337
5.11 刚体的速度	201	7.9 小结	345
5.12 角加速度	204	7.10 主要符号	346
5.13 刚体的加速度	208	习题	347
5.14★ 螺旋运动	210	8 悬架机构	354
5.15 小结	220	8.1 非独立悬架	354
5.16 主要符号	222	8.2 独立悬架	361
习题	222	8.3 侧倾中心与侧倾轴线	365
6 应用机构学	226	8.4★ 汽车轮胎相关角	374
6.1 铰链四杆机构	226	8.4.1★ 束角	374
6.2 滑块-曲柄机构	241	8.4.2★ 主销后倾角	376
6.3 反向滑块-曲柄机构	247	8.4.3★ 车轮外倾角	377
6.4 瞬时旋转中心	252	8.4.4★ 推力角	377
6.5 连杆点曲线	260	8.5 悬架要求和坐标系	378
6.5.1 铰链四杆机构的连杆点曲线	261	8.5.1 运动学要求	378
6.5.2 滑块-曲柄机构的连杆点曲线	262	8.5.2 动力学要求	379
6.5.3 反向滑块-曲柄机构的连 杆点曲线	264	8.5.3 车轮、车轮-车身和轮胎 坐标系	379
6.6★ 万向节	265	8.6★ 主销后倾角原理	387
6.7 小结	271	8.7 小结	395
6.8 主要符号	271	8.8 主要符号	396
习题	272	习题	397
7 转向动力学	275	参考文献	403
7.1 运动学转向	275		

1 轮胎和轮辋基础

轮胎是路面与车辆之间传递力的唯一车辆部件，通常在轮胎侧壁上标有轮胎尺寸、最大承载能力和最大速度等级等参数。本章会讨论有关轮胎、车轮、道路、车辆及其相互作用等专题内容。

1.1 轮胎和轮胎侧壁信息

轮胎是车辆与地面之间力传递的唯一途径，控制车辆运动所必需的力均在轮胎上生成，它是车辆的重要组成部分。

图 1.1 给出了一个装在轮辋上轮胎的横截面，用于说明标准轮胎的尺寸参数。断面高度或轮胎高度 h_T ，加上轮辋半径即为车轮半径。断面宽度或轮胎宽度 w_T ，是指轮胎未承受负载时的最大宽度尺寸。

轮胎侧壁上压印着相关信息，图 1.2 给出了某轮胎的侧面图，显示了压印在上面的重要信息。

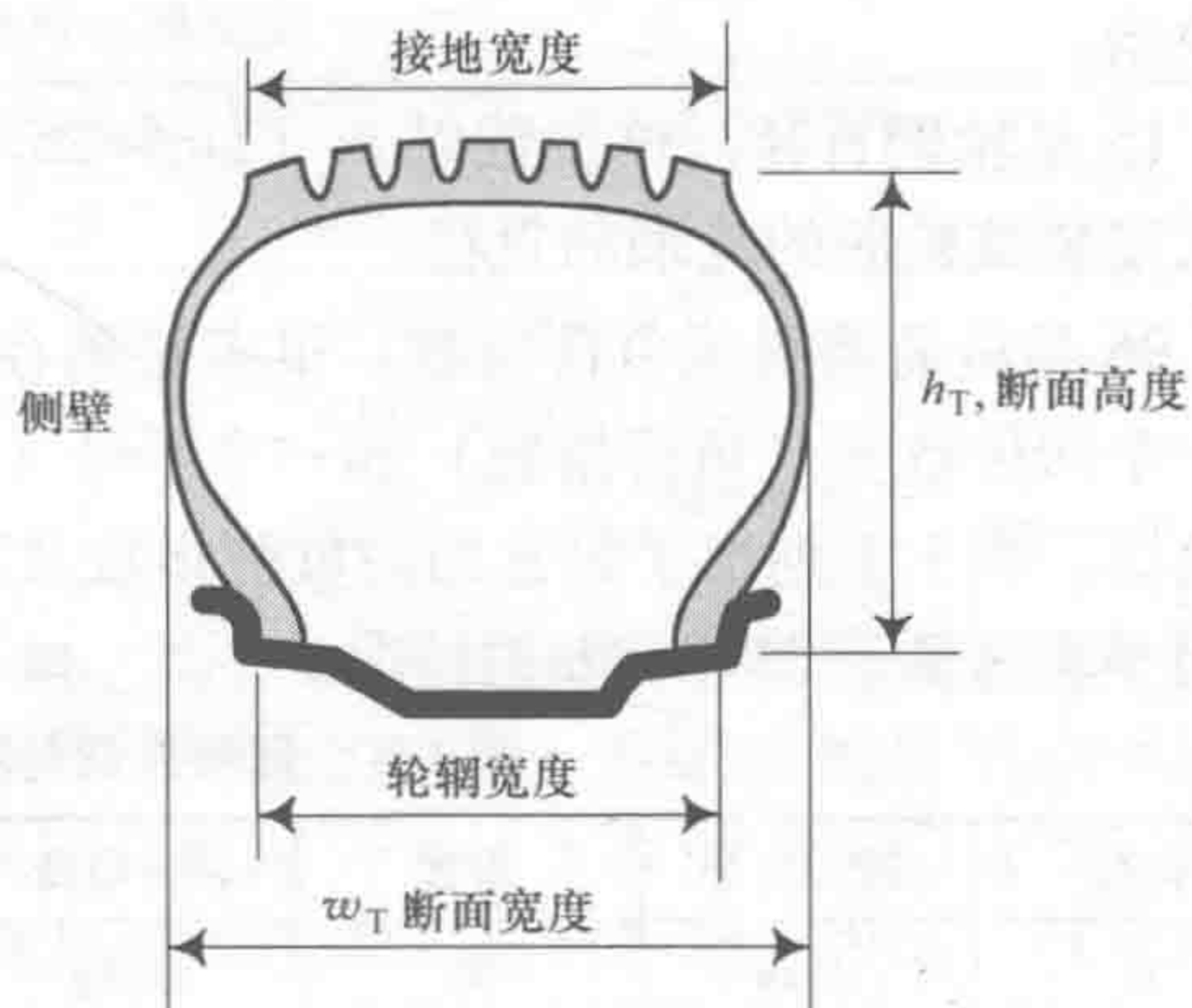


图 1.1 装在轮辋上的轮胎横截面的高度和宽度

图 1.2 中的代码含义如下：

- 1 尺寸代码。
- 2 最大允许充气压力。
- 3 轮胎结构类型。
- 4 M&S 表示冬季轮胎。
- 5 E 标记，指欧洲批准类型的标志和数码。
- 6 美国交通部识别代码。
- 7 生产国。
- 8 生产者，商标或厂商名称。

胎壁上最重要的信息是 1 中的尺寸代码，下面结合图 1.2 说明尺寸代码的格式，各项定义的解释如下（图 1.3）：

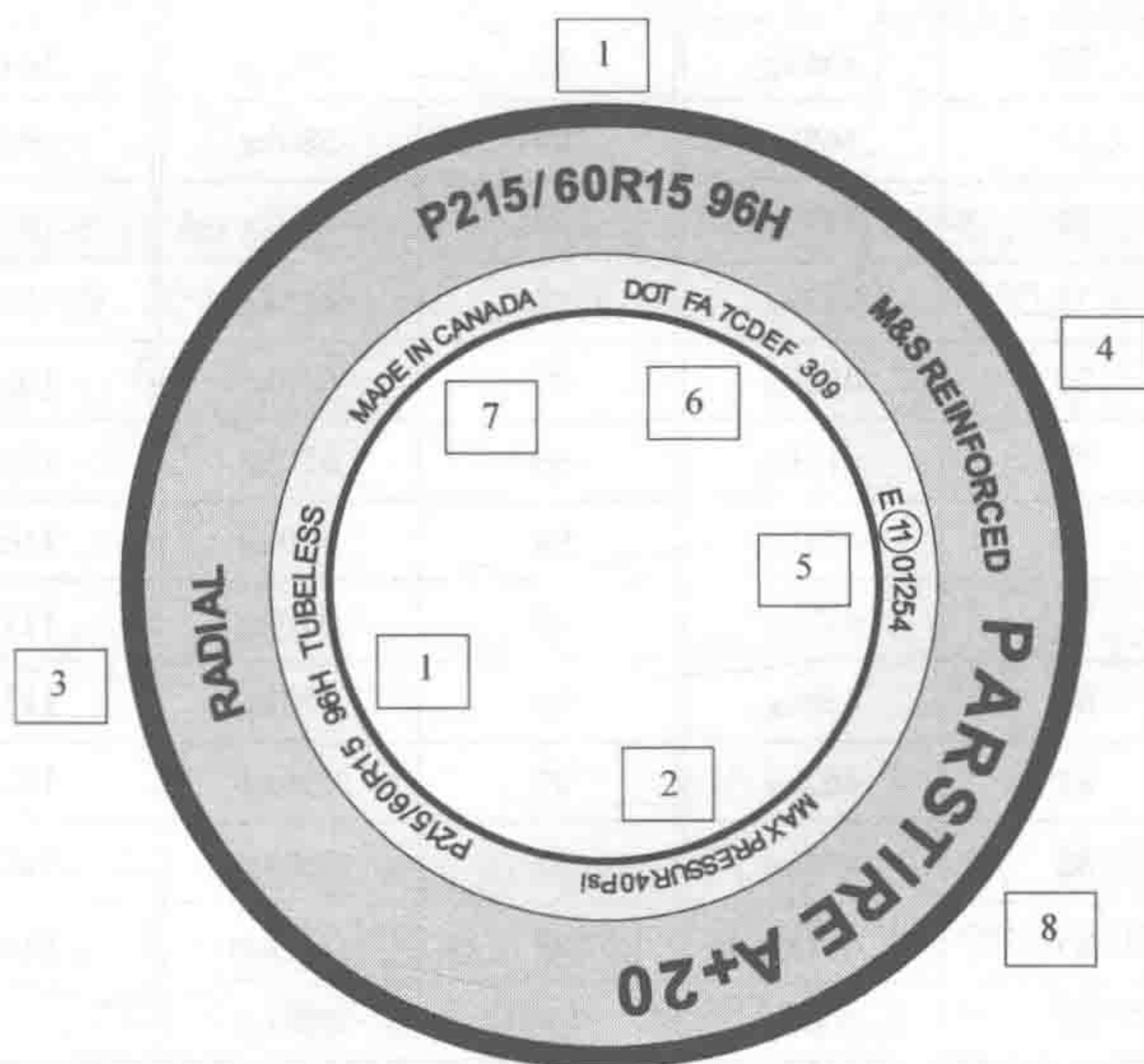


图 1.2 轮胎侧面图，压印在胎侧上的重要信息

P 是轮胎类型，第一个字母表示该轮胎适用的汽车类型，P 代表客车。第一项字符为 ST

则代表特种拖车，T 代表临时备用（temporary），LT 代表轻型货车。

215 是轮胎宽度，3 位数代码表示轮胎未承载时两侧壁之间的宽度，单位为 mm。

60 是扁平比，这个两位数代码是断面高度和断面宽度的比值，以百分比形式表示，符号为 s_T 。

$$s_T = \frac{h_T}{w_T} \times 100 \tag{1.1}$$

一般而言，轮胎扁平比涵盖范围从赛车轮胎采用的 35 到多用途车辆采用的 75 不等。

R 是轮胎结构类型。字母 R 表示轮胎为子午线结构。也可能用字母 B 表示斜交帘布层结构，用字母 D 表示斜纹型轮胎。

15 是轮辋直径。该参数以 in（1in≈25.4mm）为单位，表示安装该轮胎的轮辋的直径。

96 是负荷等级或负荷指数。很多轮胎在轮胎尺寸后面还有工作标记信息，工作标记包括一个两位数字（负荷指数）和一个字母（速度等级）。负荷指数代表轮胎能承载的最大设计负荷。表 1.1 列出了最常用的负荷指数及其负荷－承载能力，一般而言，表中的负荷指数适用于车速低于 210km/h 的情况。

表 1.1 负荷指数与轮胎最大负荷－承载能力

指数	最大负荷	指数	最大负荷	指数	最大负荷	指数	最大负荷
0	45kg	85	515kg	101	825kg	116	1250kg
...	...	86	530kg	102	850kg	117	1285kg
71	345kg	87	545kg	103	875kg	118	1320kg
72	355kg	88	560kg	104	900kg	119	1360kg
73	365kg	89	580kg	105	925kg	120	1400kg
74	375kg	90	600kg	106	950kg	121	1450kg
75	387kg	91	615kg	107	975kg	122	1500kg
76	400kg	92	630kg	108	1000kg	123	1550kg
77	412kg	93	650kg	109	1030kg	124	1600kg
78	425kg	94	670kg	110	1060kg	125	1650kg
79	437kg	95	690kg	111	1090kg	126	1700kg
80	450kg	96	710kg	113	1120kg	127	1750kg
81	462kg	97	730kg	113	1150kg	128	1800kg
82	475kg	98	750kg	114	1180kg	...	...
83	487kg	99	775kg	115	1215kg	199	13600kg
84	500kg	100	800kg				

H 是速度等级代码。速度等级是指轮胎能够承受的 10min 持续无故障最高速度。

表 1.2 列出了最常用的速度等级代码及其含义，轮胎的速度等级与轮胎的应用情况有关，见表 1.3。

P 215 / 60 R 15 96 H

P	客车
215	轮胎宽度(mm)
60	扁平比(%)
R	子午线结构
15	轮辋直径(in)
96	负荷指数
H	速度等级

图 1.3 某轮胎尺寸数码及其含义

表 1.2 速度等级与最高速度

速度等级	最高速度	速度等级	最高速度	速度等级	最高速度	速度等级	最高速度
A1	5km/h	B	50km/h	L	120km/h	T	190km/h
A2	10km/h	C	60km/h	M	130km/h	U	200km/h
A3	15km/h	D	65km/h	N	140km/h	H	210km/h
A4	20km/h	E	70km/h	P	150km/h	V	240km/h
A5	25km/h	F	80km/h	Q	160km/h	W	270km/h
A6	30km/h	G	90km/h	R	170km/h	Y	300km/h
A7	35km/h	J	100km/h	S	180m/h	Z	>240km/h
A8	40km/h	K	110km/h				

表 1.3 速度等级与车辆类别

速度等级	车辆类别	速度等级	车辆类别
L	越野车和轻型货车轮胎	S	家用轿车和厢式车
N	临时备用轮胎	T	家用轿车和厢式车
Q	越野车，无防滑钉和可装防滑钉冬季轮胎	H	运动轿车和双门轿车
R	乘用车和轻型货车轮胎	V	运动轿车、双门轿车和跑车

表 1.2 中有一处比较容易混淆，即既然有 Z 级，为什么还要设置 W 和 Y 级？这是因为最初设置 Z 级速度时，人们认为 Z 级速度就是最高等级轮胎速度。标记 Z 的轮胎能够达到 >240km/h 的速度等级，但是并不清楚最高速度能够超过 240km/h 多少。人们认为车辆行驶速度不会高过 240km/h 太多，但是不久以后就出现了速度更高的车辆。因此，行业内又增加了 W 和 Y 两个等级，用于标记能够满足新型超高速车辆需求的轮胎。

例 1 汽车质量及轮胎负荷指数
一辆质量为 2000kg 的汽车，需要负荷指数高于 84 的轮胎。这是因为每个轮胎上的负荷大约为 500kg，在表 1.1 中对应的负荷指数为 84。

例 2 根据轮胎标记测算轮胎高度
轮胎尺寸标记为 P215/60R15 96H，扁平比 60 表示轮胎的高度是其宽度的 60%。为了计算轮胎的高度（单位 mm），可以用第一个数（215）乘以第二个数（60）再除以 100。即

$$h_T = 215 \times \frac{60}{100} = 129\text{mm}$$

(1.2)

该值是轮胎从轮辋到胎面的高度。

例 3 另一种轮胎尺寸标记办法
如果轮胎上没有标记负荷指数，则尺寸代码为 255/50 R17V 的轮胎也可以标记为 255/50 VR17。

例 4 轮胎宽和轮辋宽
轮胎的尺寸决定于轮胎所安装的轮辋尺寸，对于扁平比为 50 或 50 以上的轮胎，轮辋宽度大约是轮胎断面宽度的 70%，并取精确到 0.5in 的近似值。例如，某标号为 P255/50R16 的轮胎，设计宽度为 255mm = 10.04in。10.04in 的 70% 是 7.08in，取近似值为 7in，则标号为 P255/50R16 的轮胎应该安装在 7 × 16 规格的轮辋上。

对于扁平比为 45 或 45 以上的轮胎，轮辋宽度大约是轮胎断面宽度的 85%，并取精确到 0.5in 的近似值。例如，某标号为 P255/45R17 的轮胎，其断面宽度为 255mm = 10.04in。因为 10.04in 的 85% 是 8.543in，所以该轮胎需要 8.5in 的轮辋，则标号为 P255/45R17 的轮

胎应该安装在 $8\frac{1}{2} \times 17$ 规格的轮辋上。

例5 轮胎直径和半径计算

为了计算轮胎的整体直径，需要先通过用轮胎宽度和扁平比相乘求出轮胎的高度，下面以某标记为 P235/75R15 的轮胎为例。

$$h_T = 235 \times 75\% = 176.25\text{mm} \approx 6.94\text{in} \quad (1.3)$$

用轮辋直径加 2 倍的轮胎高度 h_T 。

$$D = 2 \times 6.94 + 15 = 28.88\text{in} \approx 733.8\text{mm} \quad (1.4)$$

$$R = D/2 = 366.9\text{mm} \quad (1.5)$$

例6 速度等级代码

代码分别为 P235/75H R15 和 P235/70R15 100H 的两种相似轮胎，其速度等级代码均为 H，即最高速度 210km/h。但是第二种轮胎在该速度下只能承担小于其负荷指数标定的负荷，所以其标记为 100H，即最大负荷 800kg、最高速度 210km/h。

速度等级与轮胎类型有关，越野车辆通常采用 Q 级轮胎，乘用车辆中，典型的民用汽车通常用 R 级轮胎，性能好一些的车用 T 级轮胎。

例7 轮胎质量

乘用汽车单个轮胎的平均质量为 10 ~ 12kg，轻型货车单个轮胎的质量为 14 ~ 16kg，重型货车单个轮胎的平均质量为 135 ~ 180kg。

例8 扁平比影响

较高的扁平比使车辆乘坐感觉更软，并增大车辆负荷变形。低扁平比的轮胎常用于高性能车辆，可以使这种车辆对道路的接触面变宽，同时响应变快。低扁平比轮胎的负荷变形较小，车辆乘坐感觉更硬。

更换不同扁平比的轮胎会导致不同的接地面积，因此也会改变轮胎的负荷能力。

例9★ BMW 轮胎尺寸代码

BMW（宝马）是欧系汽车，采用 米制单位 表示轮胎的尺寸。例如，TD230/55Z R390 即为一个米制单位轮胎代码，TD 表示 BMW TD 类型，230 是以 mm 为单位的轮胎断面宽度，55 是以百分数为单位的扁平比，Z 是速度等级，R 是指轮胎为子午线轮胎，390 是以 mm 为单位的轮辋直径。

例10★ “MS” “M+S” “M/S” 和 “M&S” 标记

标记 “MS” “M+S” “M/S” 和 “M&S” 表示轮胎的泥地和雪地适应能力，多数子午线轮胎带有这些标记。

例11★ 美国 DOT 轮胎识别代码

美国轮胎代码的格式为 “DOT DNZE ABCD 2315”，开头的字符 DOT 表示轮胎符合美国政府的标准，DOT 表示交通部（Department of Transportation）。DOT 后面的两个字母 DN 是工厂标记，代表轮胎生产商和制造厂。

再后面的两个字母 ZE 是表示制造轮胎专用模具的代号，该字母组合是工厂内部代号，通常对使用者没有意义，但是可以在互联网上很容易地查到。

最后四个数字，2315 代表轮胎生产的年份和周序。其他的 ABCD 是生产商或在生产商指导下编制的销售代码，图 1.4 所示为一个示例。

DN 是位于德国 Wittlich 的 Goodyear - Dunlop 轮胎工厂的代码，ZE 是轮胎的模具尺寸。

DOT DNZE ABCD 2315

图 1.4 US DOT（符合美国交通部安全标准）轮胎识别编码示例

ABCD 是混合结构代码，23 表示该年度的第 23 周，15 表示 2015 年。因此该轮胎由德国 Wittlich 的 Goodyear – Dunlop 轮胎工厂生产于 2015 年第 23 周。

例 12★ 加拿大轮胎识别代码

加拿大的所有轮胎都要有一个交通部识别代码，图 1.5 所示为一个示例。

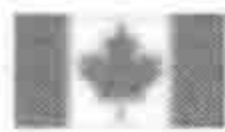
DOT B3CD E52X 2112 

图 1.5 加拿大交通部轮胎识别编码示例

该识别代码提供制造轮胎的生产厂商、时间和地点，DOT 后面的前两个字符代表轮胎生产商和制造厂。本例中，B3 表示加拿大 Bridgewater 的米其林集团。第三个和第四个字符 CD 是轮胎模具尺寸代码。第五至第八个字符 E52X 是生产商使用的可选代码。最后的四个数字 2112 表示生产日期，例如 2112 表示 2012 年第 21 周。识别代码后面的枫叶符号或国旗符号表示轮胎符合加拿大交通部要求。

例 13★ E 标记和国际代码

1977 年 7 月以后在欧洲销售的所有轮胎都要有一个 E 标记，示例见图 1.2 中的[5]处。此标记以大写或小写的 E 开头，其后是圆圈或方框里的数字，再后面是另一组数字。E 表示该轮胎遵守 CEC 条例的尺寸、性能和标记要求，CEC 或 UNCEC 是联合国欧洲经济委员会的英文简称。圆圈或方框里的数字是国家代码，例如，11 是指英国。圆圈或方框外的前两位数字表示批准轮胎的条例序号，例如，“02”表示指导乘用车轮胎的 CEC 条例 30，“00”表示指导商用车轮胎的 CEC 条例 54。剩下的数字表示 CEC 标记类型批准数字。轮胎还有可能经测试达到噪声限制要求，这些轮胎可能在第二个 CEC 标记后面缀有表示安全的“-s”。

表 1.4 给出了轮胎标记中的欧洲国家代码。

除了美国和欧洲的 DOT 和 CEC 代码，还有其他几种代码，如国际标准化组织的 ISO – 9001、中国强制性产品认证制度的 C. C. C、日本工业标准的 JISD4230 等。

表 1.4 用于轮胎标记的欧洲国家代码

代码	国家	代码	国家
E1	德国	E14	瑞士
E2	法国	E15	挪威
E3	意大利	E16	芬兰
E4	荷兰	E17	丹麦
E5	瑞典	E18	罗马尼亚
E6	比利时	E19	波兰
E7	匈牙利	E20	葡萄牙
E8	捷克共和国	E21	俄罗斯
E9	西班牙	E22	希腊
E10	南斯拉夫（现已解体）	E23	爱尔兰
E11	英国	E24	克罗地亚
E12	奥地利	E25	斯洛文尼亚
E13	卢森堡	E26	斯洛伐克

例 14★ 轻型货车轮胎

轻型货车轮胎的尺寸可以用两种格式表示：LT245/70R16 或 32 × 11.50R16LT。

第一种格式中，LT 代表轻型货车，245 代表轮胎宽度（单位 mm），70 代表扁平比（百分数），R 代表子午线结构，16 代表轮辋直径（单位 in）。

第二种格式中，32 代表轮胎直径（单位 in），11.5 代表轮胎宽度（单位 in）；R 代表子午线结构，16 代表轮辋直径（单位 in），LT 代表轻型货车。

例 15★ UTQG 等级

轮胎生产商可能在其生产的轮胎上增加其他符号、数字和字母，对轮胎的耐磨性能、湿滑路牵引性能和耐高温性能进行分级。对这些字符的标识没有统一要求和标准，但是一般会参考 UTQG（Uniform Tire Quality Grading，统一轮胎质量分级）体系。该体系中用以 mile（1mile≈1.6km）为单位的指数表示轮胎的平均耐磨寿命，耐磨代号越大，轮胎寿命越长。指数为 100 相当于寿命大约为 20000mile，详见表 1.5。

表 1.5 胎面耐磨分级指数

指数	寿命	
100	32000km	20000mile
150	48000km	30000mile
200	64000km	40000mile
250	80000km	50000mile
300	96000km	60000mile
400	129000km	80000mile
500	161000km	100000mile

UTQG 等级还对湿滑路牵引性能和耐高温性能用字母 A 至 C 进行分级，其中 A 表示最好，B 次之，C 表示合格。湿滑路牵引性能为 A 级意味着轮胎上有大且深的胎面花纹和很多排水槽，这些排水槽同时是胎面块的分界线。

耐高温性能为 A 级意味着两个情况：第一，胎体束带刚度较高，胎侧刚度较高，或两者组合后刚度较高；第二，胎侧较薄，轮胎胎面花纹上的稳定块较多。温度等级中 A 表示最好，B 次之，C 表示合格。

轮胎上还有代表轮胎抓地能力的牵引性能分级符号，这种分级涵盖干路面和湿路面的情况。其中 AA 级表示最好，A 级表示很好，B 表示好，C 表示合格。

例 16★ 胎侧附加标记

TL 代表无内胎。

TT 代表有内胎轮胎的内胎类型。

Made in Country 代表生产国家。

C 代表用于商用货车的商用轮胎，例如：185R14C。

B 代表斜交帘布层。

SFI 代表此面向内。

SFO 代表此面向外。

TWI 代表轮胎磨损标记，该标志在轮胎外侧面，表示轮胎磨损到该标志处时，需要更换

轮胎。

SL 代表标准负荷，普通用途轮胎和负荷。

XL 代表超大负荷，重载轮胎。

RF 或 rf 代表加固轮胎。

箭头代表旋转方向，有些轮胎设计在某一方向上驱动时的性能最好，在这种轮胎上标记箭头，表示安装轮胎时要让箭头指向车辆前进时轮胎的旋转方向，即单导向轮胎。

例 17★ 加 1 定则

加 1 定则是指先增加轮辋的直径再匹配合适的轮胎。一般而言，轮辋直径增加 1in，轮胎宽相应地增加 20mm，同时扁平比减小 10%。这样就抵消了轮辋直径的增长，使轮胎总半径保持不变。图 1.6 演示了上述思想。

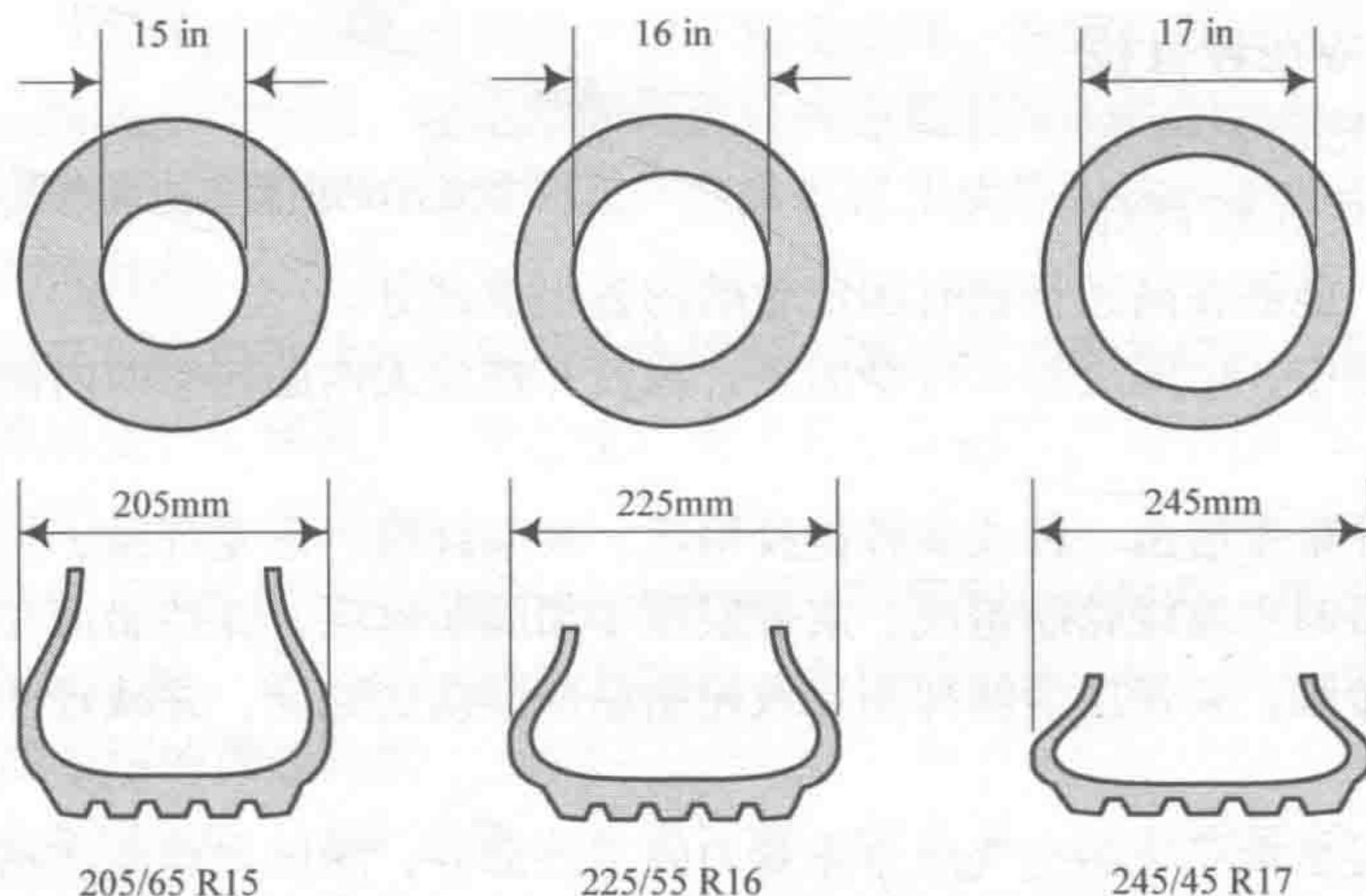


图 1.6 加 1 定则是指将轮辋直径增加 1in 并为其匹配轮胎的规则

通过采用低扁平比轮胎，可以获得更快的转向响应和更好的侧向稳定性。当然，车辆的乘坐舒适度也会降低。

例 18★ 充气不足轮胎和充气过量轮胎

充气不当导致的轮胎过热是轮胎的常见故障，对于充气不足的轮胎，轮胎内气体压力承载车重的能力降低，胎侧承载的车重的比例增加。这种轮胎负荷的增加导致轮胎接地印迹增大，从而产生更多的摩擦，生成更多热量。

对于充气过量的轮胎，轮胎内气体压力承载了过多的车重，车辆会更加颠簸，同时会由于轮胎接地印迹很小，即只有轮胎接地印迹中心部分与路面接触，而导致转向困难。

对于充气适当的轮胎，轮胎内气体压力承载大约 95% 的车重，胎侧承载大约 5% 的车重。

1.2 轮胎组成

轮胎是由橡胶和多种合成材料经复杂加工生产出的先进工程产品，纤维、帘布和钢丝等材料也是轮胎内衬、胎体层、胎圈、束带、侧壁和胎面的重要构成部分。图 1.7 显示了轮胎的内部结构。

轮胎的主要组成如下：